



66 Innere Priorität:
197 55 632. 9 15. 12. 97

71 Anmelder:
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE

72 Erfinder:
Kammeyer, Karl-Dirk, Dr., 21244 Buchholz,
Schmidt, Heiko, 28215 Bremen, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Adaptive Subträgerselektion zur Verringerung der Spitzenwerte eines Multiträger-Signals

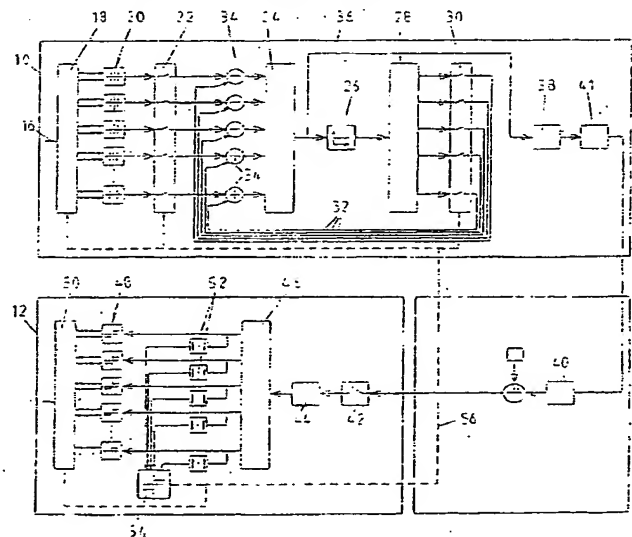
57 Die vorliegende Erfindung betrifft eine in Multiträger-
übertragungsverfahren und einen Multiträgerübertra-
gungssender und/oder Empfänger zum parallelen Über-
tragen von Informationen in Form eines Signals $x(k)$ auf N
Subkanälen mit einer jeweiligen Stufigkeit M über eine
Übertragungsstrecke zwischen einem Sender und einem
Empfänger, wobei in dem Empfänger für jeden Subkanal
eine Übertragungsfunktion bestimmt wird, wobei ferner
die N Subkanäle gemäß der jeweiligen Übertragungs-
funktionen in ihrer Eignung zur Informationsübertragung
bewertet und die N_0 besten Subkanäle für eine Informa-
tionsübertragung freigegeben und die übrigen $N_1 = N - N_0$
Subkanäle für eine Informationsübertragung gesperrt
werden. Hierbei wird den N_1 von der Informationsübertragung
ausgeschlossenen Subkanälen jeweils eine Korrektur-
funktion $\Delta x(k)$ derart aufgegeben, daß ein Verhältnis
zwischen einem Spitzenwert \max

$$\{|x(k)|\}$$

des Signals $x(k)$ und einem Effektivwert

$$\sqrt{E\{|x(k)|^2\}}$$

des Signals $x(k)$ minimiert oder zumindest vermindert
wird.



Die Erfindung betrifft ein Multiträgerübertragungsverfahren zum parallelen Übertragen von Informationen in Form eines Signals $x(k)$ auf N Subkanälen über eine Übertragungsstrecke zwischen einem Sender und einem Empfänger, wobei in dem Empfänger für jeden Subkanal eine Übertragungsfunktion bestimmt wird, wobei ferner die N Subkanäle gemäß der jeweiligen Übertragungsfunktion in ihrer Eignung zur Informationsübertragung bewertet und die N_u besten Subkanäle für eine Informationsübertragung freigegeben und die übrigen $N_f = N - N_u$ Subkanäle für eine Informationsübertragung gesperrt werden, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Die Erfindung betrifft ferner einen Multiträgerübertragungssender und/oder -empfänger, insbesondere zum Ausführen eines Multiträgerübertragungsverfahrens zum parallelen Übertragen eines Datenstromes in Form eines Signals $x(k)$ auf N Subkanälen mit einem Sender und einem Empfänger, wobei in dem Empfänger für jeden Subkanal eine Übertragungsfunktion bestimmt ist, wobei ferner die N Subkanäle gemäß der jeweiligen Übertragungsfunktion in ihrer Eignung zur Informationsübertragung bewertet und die N_u besten Subkanäle für eine Informationsübertragung freigegeben und die übrigen $N_f = N - N_u$ Subkanäle für eine Informationsübertragung gesperrt sind, wobei ferner der Sender in Datenstromrichtung folgendes aufweist, einen Seriell-Parallel-Wandler, welcher einen eingehenden seriellen Datenstrom parallelisiert, eine Signalraumzuordnungsvorrichtung, welche mit einer Stufigkeit M eine Anzahl von jeweils $\log_2(M)$ Dateneinheiten einem Subkanal in Form einer jeweiligen komplexen Subkanal-Belegung $s(i)$ des i -ten Subkanals zuordnet, und eine erste Transformationsvorrichtung, welche die $s(i)$ aller Subkanäle in eine jeweilige Subkanallage verschiebt und zu einer Funktion im Zeitbereich $x(k)$ aufsummiert, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 12.

Stand der Technik

Bei breitbandigen digitalen Übertragungsverfahren sollen je nach Anforderung und Umgebung Datenraten von 20 MBit/s bei 5.2 GHz bis zu 155 MBit/s bei 17.2 GHz innerhalb einer Zelle erreicht werden. Anwendung finden derartige Übertragungsverfahren bei sog. "Indoor"-Umgebungen, wie beispielsweise drahtlose lokale Netzwerke (WLAN = Wireless Local Area Network). Hierbei kommunizieren einzelne Mobilstationen nicht direkt sondern nur über eine Basisstation miteinander. Gemäß der Norm COST 231 ist eine Indoor-Umgebung durch schwach zeitvariante Mobilfunkkanäle charakterisiert.

Als breitbandiges Übertragungsverfahren wird häufig ein sog. OFDM-Verfahren (OFDM = Orthogonal Frequency Division Multiplexing) benutzt. Dabei werden zu übertragende Daten auf mehrere, beispielsweise N Subkanäle mit einem jeweiligen Subträger bzw. einer Subträgerfrequenz verteilt und zeitgleich auf den im Frequenzbereich verschobenen Subkanälen übertragen. Jede auf einem Subkanal übertragene Informationseinheit wird als "Symbol" bezeichnet, so daß jedem Symbol entsprechend der Aufteilung der zu übertragenden Gesamtdaten auf N Subkanäle eine Symboldauer T zukommt und sich dementsprechend eine Frequenzverschiebung der einzelnen Subträger Δf , d. h. ein relativer Subträgerabstand ergibt gemäß

$$\Delta f = \frac{1}{T} \quad (1.1)$$

In einem Multiträger- oder OFDM-Sender wird ein seriell eingehender Strom von Daten, beispielsweise ein Bitstrom binärer Daten der Bitrate R , in einem Seriell-Parallel-Wandler auf N Subkanäle mit einer jeweiligen Bitrate von $R' = R/N$ verteilt, wobei R eine Gesamtübertragungsrate des Systems bezeichnet. Auf jedem Subkanal erfolgt eine Codierung der binären Dateneinheiten in Form einer komplexen Signalraumzuordnung, so daß zu jedem Zeitpunkt N diskrete Signalraumpunkte mit einer komplexen Amplitude $s(i)$ existieren, wobei i den i -ten von N Subkanälen bezeichnet und $i = 0, \dots, N-1$ ist. Hierbei erfolgt eine lineare Modulation mit einer Stufigkeit M , wobei jeweils $\log_2(M)$ Bits einen komplexen Wert $s(i)$ auf dem i -ten Subkanal generieren. Das komplexe Symbol $s(i)$ kann dabei M verschiedene Werte annehmen. Falls sich diese Werte nur im Betrag unterscheiden spricht man von ASK-Modulation (amplitude shift keying), falls die Beträge festliegen, beispielsweise 1, unterscheiden sich die komplexen Symbole $s(i)$ durch ihre jeweiligen Phasenwinkel und man spricht von PSK-Modulation (phase shift keying). Man kann sich daher die Signalraumzuordnung anschaulich als Amplitudenmodulation auf N unterschiedlichen Frequenzen vorstellen. Mittels einer inversen diskreten Fourier-Transformation (IDFT) werden die komplexen Symbole $s(i)$ in die jeweilige Subkanallage verschoben. Mit anderen Worten erfolgt ein Übergang vom Frequenzraum in den Zeitraum.

$$x_i(k) = s(i) e^{j 2 \pi \frac{ik}{N}} \quad (1.2)$$

Dies erfolgt auf jedem Subkanal und die einzelnen Subkanalsignale werden zu einem sogenannten OFDM-Symbol $x(k)$ im Zeitbereich aufsummiert. $s(i)$ wird auch als OFDM-Symbol im Frequenzbereich bezeichnet.

$$x(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} s(i) e^{j 2 \pi \frac{ik}{N}} \quad (1.3)$$

Hierbei steht die Variable k für die Zeit und ist auf einen Bereich von 0 bis $N-1$ begrenzt. Ein OFDM-Symbol hat normalerweise N Abtastwerte. Die Dauer eines OFDM-Symbols beträgt T , weil auf jedem Subträger die Symboldauer T be-

trägt und die Symbole auf den Subträgern gleichzeitig übertragen werden, wobei k den mit $T_a = T/N$ abgetasteten Zeitpunkten entspricht. In der Praxis wird die IDFT numerisch in der Regel in Form einer inversen schnellen Fourier-Transformation (IFFT) ausgeführt. Dies führt also zu einer Überlagerung von N komplexen Schwingungen im Zeitbereich, wobei das OFDM-Symbol $x(k)$ eine Dauer T hat. Dieses komplexe Signal wird anschließend in eine reelle Bandpaßlage verschoben und zu einem OFDM-Empfänger übertragen. Dieser ist symmetrisch zum OFDM-Sender aufgebaut. Nach Verschiebung des Bandpaßsignals in eine Basislage wird die spektrale Trennung der N Subkanäle mittels einer DFT (Diskrete Fourier-Transformation) bzw. numerisch mittels einer FFT (Fast Fourier-Transformation) durchgeführt. Durch entsprechende Filterung und Abtastung erhält man die komplexen Signalmuster auf jedem Subkanal.

Bei einer digitalen, drahtlosen Übertragung treten in Indoor-Umgebungen Echolaufzeiten zwischen 50 ns und 150 ns auf. Erfolgt beispielsweise eine zweistufige Übertragung ($M=2$) mit einer Datenrate bei einer Singleträger-Übertragung von 20 MBit/s, so liegt eine Symboldauer T von 50 ns vor. Das bedeutet, daß ein empfangenes Symbol von mehreren zuvor gesendeten Symbolen gestört wird. Hierbei spricht man von Intersymbolinterferenzen (ISI). Zur Vermeidung dieser Intersymbolinterferenzen (ISI) findet eine zyklische Erweiterung des OFDM-Symbols um eine Zeitdauer T_g statt, wobei diese zusätzliche Zeitspanne als Schutzintervall oder Guardintervall bezeichnet wird. Das gesamte OFDM-Symbol mit Schutzintervall hat somit eine Länge $T^* = T + T_g$. Wegen der höheren bzw. längeren zeitlichen Dauer des OFDM-Symbols stellt sich auch auf den einzelnen Subträgern eine Symboldauer T^* ein, wobei der Anteil T_g als Totzeit aufzufassen ist, da der Trägerabstand $1/T$ erhalten bleibt. Wenn die Guardzeit T_g größer als die maximale Echolaufzeit des Kanals ist, läßt sich die vom Kanal verursachte Intersymbolinterferenz durch Wegschneiden des zyklischen Schutzintervalls im OFDM-Empfänger eliminieren.

Bei einer Datenübertragung mittels des Multiträgerverfahrens OFDM treten mehrere Probleme auf. Aufgrund einer Mehrwegausbreitung kommt es beispielsweise zu unterschiedlichen Fehlerraten auf den einzelnen Subträgern, so daß sich die Gesamtfehlerrate aufgrund der hohen Fehleranfälligkeit weniger, stark gestörter Unterträger verschlechtert. Aus der Arbeit "Analysen zur skalierbaren OFDM-Übertragung für drahtlose, ATM-basierte Zugangssysteme" von A. Hinrichs, Bosch, Universität-Bremen, September 1997 ist es bekannt, durch Anwendung einer Kanalcodierung die Fehler-rate eines OFDM-Systems in einer Mobilfunkumgebung zu verbessern. Der Artikel "Performance of an OFDM-TDMA Mobile Communication System" von H. Rohling und R. Grünheid (TU-Braunschweig) erschienen in den Proceedings der IEEE VTC '96, S. 1589-1593 beschreibt die Bestimmung einer Übertragungsfunktion der einzelnen Subträger, wobei die Stufe M der Modulation auf jedem Subträger an diese Übertragungsfunktion angepaßt wird. Dieses Verfahren wird auch als adaptive Modulation bezeichnet und im Extremfall werden dabei einzelne Subträger vollständig ausgeblendet.

Ein weiteres Problem des Multiträgerverfahrens OFDM liegt in nichtlinearen Verstärkereigenschaften, welche aufgrund hoher Spitzenwerte des zu sendenden OFDM-Symbols zu starken Störungen führen. Der Betrag des Signals $x(k)$, also $|x(k)|$, kann nämlich hohe Spitzenwerte annehmen, die zu unerwünschten Effekten bei Verwendung eines nichtlinearen Verstärkers führen. Bekannte Auswirkungen sind u. a. beispielsweise eine unerwünschte Außerbandstrahlung und/oder Internodulationseffekte. Zur Beschreibung dieses Sachverhaltes ist ein sog. Crestfaktor C als Verhältnis zwischen einem Spitzenwert des OFDM-Symbols $x(k)$ und seinem Effektivwert definiert.

$$C = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{\max\{|x(k)|\}}{\sqrt{E\{|x(k)|^2\}}} \right) \quad (1.4)$$

Hierbei ist

$$E\{x\} = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x(k). \quad (1.5)$$

Zur Verbesserung einer Einhüllendenkonstanz mit entsprechender Reduktion der Störungen bzw. des Crestfaktors sind folgende Verfahren bekannt:

Die Arbeit "Analysen zur skalierbaren OFDM-Übertragung für drahtlose, ATM-basierte Zugangssysteme" von A. Hinrichs, Bosch, Universität-Bremen, September 1997 schlägt zur Verbesserung der Einhüllendenkonstanz einen Einsatz komplementärer Codes zur Kanalcodierung vor.

In dem zu OFDM-Fachgespräch '96 in Braunschweig veröffentlichten Artikel "Reduzierung der durch Nichtlinearitäten hervorgerufenen Außerbandstrahlung bei einem Mehrträgerverfahren" von M. Pauli und H.-P. Kuchenbecker ist ein Verfahren beschrieben, bei dem durch Multiplikation mit Gaußfunktionen einzelne Spitzenwerte reduziert werden.

In dem zu OFDM-Fachgespräch '97 in Braunschweig veröffentlichten Artikel "Reduktion von Nachbarkanalstörungen in OFDM-Funkübertragungssystemen" von T. May und H. Rohling (TU Braunschweig) wird die Reduktion einzelner Spitzenwerte durch die Überlagerung mit Korrekturfunktionen mit endlicher Bandbreite (Si-Funktionen) vorgeschlagen.

Bei dem im Artikel "OFDM-Signals with low Crest-Factor" von M. Friese (Deutsche Telekom) auf der IEEE Globecom '97 vorgeschlagenen Verfahren werden zur Reduktion des Crestfaktors einzelne Subträger zu Blöcken zusammengefaßt und mit einem komplexen Drehoperator versehen, d. h. mit einem komplexen Faktor multipliziert. Diese komplexen Faktoren haben eine Amplitude 1 und erzeugen eine Phasendrehung. Die Variation dieser Faktoren führt zu einer Crestfaktoroptimierung, die für jedes OFDM-Symbol iterativ durchgeführt wird.

Ein Mehrpfad-Übertragungskanal, wie bei einem OFDM-Verfahren, hat i. a. ein frequenzselektives Verhalten, d. h. unterschiedliche Frequenzen werden in der Regel unterschiedlich gut übertragen, so daß sich für jeden Subkanal einer frequenzabhängige Kanalübertragungsfunktion ergibt. Der Phasenverlauf ist ebenfalls eine Funktion der Frequenz. Da man

bei einem Multiträgerverfahren den zur Verfügung stehenden Frequenzbereich (Gesamtbandbreite B) in N Teilkanäle bzw. Subkanäle aufteilt, hat jeder Subkanal eine eigene Kanalübertragungsfunktion, die bei einem OFDM-Verfahren innerhalb jeden Subkanals als konstant angenommen wird.

Bei dem OFDM-Multiträgersystem ist es möglich, die Amplitude der Kanalübertragungsfunktion auf jedem Subkanal zu schätzen, bzw. sie durch Interpolation der Schätzwerte einiger Subkanäle zu bestimmen. Aufgrund einer Mehrwegeausbreitung werden die unterschiedlichen Subkanäle unterschiedlich stark gedämpft. Sendet man auf jedem Subkanal mit gleicher Leistung, kann im OFDM-Empfänger eine Empfangene Leistung bzw. Amplitude bestimmt werden. So ergibt sich eine Betragsübertragungsfunktion des Kanals in Form von N Abtastwerten im Frequenzbereich. Am OFDM-Empfänger wird mittels der Betragsübertragungsfunktion für jeden Subkanal ein komplexer Wert bestimmt, dessen Amplitude für eine Rangordnung der Subkanäle genutzt wird. So bedeutet beispielsweise ein hoher Amplitudenwert eine hohe Zuverlässigkeit. Diese Informationen über die Subkanaleigenschaften werden zur Festlegung eines Belegungsschemas genutzt, das festlegt, welche Subträger für die Informationsübertragung zu belegen sind. Ein Belegungsschema ist beispielsweise ein Vektor c_u , wobei jedes der N Vektorelemente $c_u \in \{0,1\}$ ist.

Bei einer derartigen Selektion von Subträgern werden in einem ersten Schritt anhand einer Schwellwertentscheidung nur diejenigen Subkanäle für die Datenübertragung zugelassen, deren Subkanalübertragungsfunktion des Kanals unterhalb einer festgelegten Schwelle liegt. Dabei ist die Anzahl der nutzbaren Kanäle von der momentanen Kanalübertragungsfunktion abhängig.

In einem alternativen ersten Schritt wird davon ausgegangen, daß immer N_u von N Subkanälen für die Übertragung benutzt werden. In diesem Fall ergibt sich aus der Rangordnung der Subkanäle in Abhängigkeit von den ermittelten Amplitudenwerten der Subkanalübertragungsfunktion ein Belegungsschema derart, daß die $N_l = N - N_u$ am stärksten gedämpften Subkanäle von der Informationsübertragung ausgeschlossen werden.

Die Auswahl der Subträger erfolgt dabei adaptiv, d. h. es findet eine Entscheidung anhand der zu erwartenden Zuverlässigkeit der einzelnen Subkanäle je nach momentaner Empfangssituation bzw. je nach momentaner Betragsübertragungsfunktion am OFDM-Empfänger mit laufender Anpassung statt. In einer Indoor-Umgebung ändert sich der Subkanal bzw. die jeweilige Subkanalübertragungsfunktion nur sehr langsam, so daß eine geringe Adaptionsgeschwindigkeit in der Regel ausreicht. Diese adaptive Subkanalselektion erfolgt am OFDM-Empfänger, wobei durch eine bidirektionale Übertragung, beispielsweise auf Protokollebene, die Information über die jeweilige Auswahl der Subkanäle ebenfalls dem OFDM-Sender vorliegt.

Bei einem OFDM-System beeinflussen sich die einzelnen Subträger aufgrund der oben erläuterten ISI-Freiheit des Systems nicht untereinander. Störungen benachbarte Subkanäle bezeichnet man als ACI. Dies bezeichnet man als "orthogonal" bzw. die Subkanäle sind "orthogonal" zueinander (ACI-Freiheit). Aufgrund der Mehrwegeausbreitung des Mobilfunkkanals kommt es zu einer Überlagerung mehrerer Signal am Empfänger. Durch unterschiedliche Laufzeiten und Dämpfungen der einzelnen Signalfade werden einige Frequenzen konstruktiv und andere destruktiv überlagert. Da das Rauschen hingegen alle Frequenzen gleichermaßen stört, kommt es zu unterschiedlich starken relativen Signalstörungen der einzelnen Subträger. Auf jedem Subkanal werden komplexe Symbole übertragen. Diese werden im Sender aus einem Alphabet von M verschiedenen komplexen Werten gebildet. Der Empfänger muß diese Werte auf jedem Subkanal zurückgewinnen bzw. rekonstruieren. Gelingt dies aufgrund von Störungen nicht, so spricht man von Symbolfehlscheidungen. Durch die unterschiedlichen oben erwähnten Signalstörungen kommt es bei der Rückgewinnung des ursprünglichen digitalen Bitfolge am häufigsten auf den stärker gestörten Subträgern zu Symbolfehlscheidungen. Bei Anwendung der oben erläuterten adaptiven Subträgerselektion werden alle Subträger nicht mit Information belegt, welche unterhalb einer vorbestimmten Schwelle liegen. Dies erzielt zwar eine deutlich geringere Gesamtfehlerwahrscheinlichkeit, es ergibt sich jedoch der Nachteil, daß nur eine geringere Bitrate und eine geringere Bandbreite-Effizienz erreichbar ist. Diese Faktoren begrenzen die Möglichkeit der Verbesserung der Bitfehlerrate der OFDM-Übertragung erheblich.

45 Darstellung der Erfindung, Aufgabe, Lösung, Vorteile

Es ist Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein verbesserte Multiträgerübertragungsverfahren und einen verbesserten Multiträgerübertragungssender und/oder -empfänger der obengenannten Art zur Verfügung zu stellen, wobei eine verminderte Bitfehlerrate auf einfache Weise und ohne Verluste bezüglich einer Übertragungsrate erreicht wird.

50 Diese Aufgabe wird durch ein Multiträgerübertragungsverfahren der o.g. Art mit den in Anspruch 1 gekennzeichneten Merkmalen und durch einen Multiträgerübertragungssender und/oder -empfänger der o.g. Art mit den in Anspruch 12 gekennzeichneten Merkmalen gelöst.

Dazu ist es bei dem Multiträgerübertragungsverfahren erfindungsgemäß vorgesehen, daß den N_l von der Informationsübertragung ausgeschlossenen Subkanälen jeweils eine Korrekturfunktion $\Delta x(k)$ derart aufgegeben wird, daß ein Verhältnis zwischen einem Spitzenwert $\max\{|x(k)|\}$ des Signals $x(k)$ und einem Effektivwert $\sqrt{E\{|x(k)|^2\}}$ des Signals $x(k)$ minimiert oder zumindest vermindert wird, wobei ein Belegungsschema c_u , welches die N_u Kanäle mit Informationen und die N_l Kanäle ohne Informationen spezifiziert, auf einem Informationsweg zwischen dem Sender und dem Empfänger ausgetauscht wird, so daß beiden ein jeweilig gültiges Belegungsschema c_u bekannt ist.

Bei einem Multiträgerübertragungssender und/oder -empfänger ist es erfindungsgemäß vorgesehen, daß zusätzlich folgendes nach der ersten Transformationsvorrichtung im Datenstromweg in Form einer Rückkopplungsschleife angeordnet ist, ein Schwellwertentscheider, welcher in Abhängigkeit von $|x(k)|$ und einem Schwellwert S_x eine Korrekturfunktion $\Delta x_{r,\text{sol}}(k)$ bestimmt, eine zweite Transformationsvorrichtung welche in umgekehrter Weise bezüglich der ersten Transformationsvorrichtung die Korrekturfunktion $\Delta x_{r,\text{sol}}(k)$ in eine Trägerbelegung $\Delta s_{r,\text{sol}}(i)$ transformiert, eine Ausblendvorrichtung, welche die N_u mit Informationen belegten Kanäle ausblendet und so Funktionen $\Delta s_{r,\text{isl}}(i)$ für jeden i-ten Subkanal erzeugen, Rückkoppelleitungen für jeden Subkanal, welche in jeweilige Akkumulatoren der N Subkanäle vor der ersten Transformationsvorrichtung münden und $s_{r,i}(i)$ mit $\Delta s_{r,\text{isl}}(i)$ summieren.

65 Dies hat den Vorteil, daß auf einfache Weise sonst nicht benutzte Subkanäle zu einer Minimierung bzw. Verminderung eines Crestfaktors C gemäß Formel (1.4) verwendbar sind, so daß eine bezüglich Bitfehlerrate und anderer Signalstörun-

gen verbesserte und sicherere Informationsübertragung ohne Einbußen bezüglich einer Übertragungsrate erzielt wird. Vorzugsweise Weitergestaltungen sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

So ist es besonders bevorzugt, daß das Multiträgerübertragungsverfahren ein OFDM-Verfahren (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ist, wobei das Signal $x(k)$ als OFDM-Symbol durch inverse diskrete Fourier-Transformation (IDFT) bzw. durch inverse schnelle Fourier-Transformation (IFFT) gemäß

$$x(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} s(i) e^{j2\pi \frac{ik}{N}}$$

aus komplexen Subkanalbelegungen oder Symbolen $s(i)$ des i -ten Subkanals mit $i=0 \dots N-1$ gebildet wird, wobei die komplexen Symbole $s(i)$ mittels linearer Modulation mit einer Stufigkeit M aus einem parallelisierten seriellen Datenstrom gebildet sind.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform wird die Korrekturfunktion $\Delta x(k)$ mit folgenden Schritten gebildet:

- (a) Bestimmen des Signals $x(k)$ als ein Anfangssignal $x_0(k)$ und Setzen eines Laufindex r auf eins,
- (b) Bestimmen einer Korrekturfunktion $\Delta x_{r,\text{soil}}(k)$ mittels einer Schwellwertentscheidung mit einer vorbestimmten Schwelle S_x , wobei $\Delta x_{r,\text{soil}}(k)$ für $|x_{r-1}(k)| \leq S_x$ einen ersten vorbestimmten Wert annimmt und für $|x_{r-1}(k)| > S_x$ einen zweiten vorbestimmten Wert annimmt, wobei $r=1, 2, 3, \dots$,
- (c) Transformation der Korrekturfunktion $\Delta x_{r,\text{soil}}(k)$ in den Frequenzbereich in eine Trägerbelegung $\Delta s_{r,\text{soil}}(i)$,
- (d) Ausblenden der Null mit Informationen belegten Subkanäle aus $\Delta s_{r,\text{soil}}(i)$ zu einem Vektor $\Delta s_{r,\text{ist}}(i)$,
- (e) Transformation der Trägerbelegung $\Delta s_{r,\text{ist}}(i)$ in eine Korrekturfunktion $\Delta x_{r,\text{ist}}(k)$ und
- (f) Bestimmen eines korrigierten Signals $x_r(k)$ gemäß

$$x_r(k) = x_{r-1}(k) + \Delta x_{r,\text{ist}}(k).$$

Eine besonders gute Verbesserung der Außerbandstrahlung durch iteratives Ermitteln der Korrekturfunktion erzielt man durch folgenden zusätzlichen Schritt:

- (g) Bestimmen des Crestfaktors C

$$C = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{\max\{|x_r(k)|\}}{\sqrt{E\{|x_r(k)|^2\}}} \right)$$

und wiederholen der Schritte (b) bis (g), falls C einen vorbestimmten Wert unterschreitet mit $r=r+1$.

Hierbei wird bevorzugt in Schritt (a) $x_0(k)$ aus dem zu übertragenden Datenstrom folgendermaßen gebildet: $x_0(k)$ wird als das Signal $x(k)$ als OFDM-Symbol durch inverse diskrete Fourier-Transformation (IDFT) bzw. durch inverse schnelle Fourier-Transformation (IFFT) gemäß

$$x(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} s(i) e^{j2\pi \frac{ik}{N}}$$

aus komplexen Subkanalbelegungen oder Symbolen $s(i)$ des i -ten Subkanals mit $i=0 \dots N-1$ gebildet wird, wobei die komplexen Symbole $s(i)$ mittels linearer Modulation mit einer Stufigkeit M aus einem parallelisierten seriellen Datenstrom gebildet sind.

Zu einer weiteren Verbesserung der Verminderung des Crestfaktors wird in besonders vorteilhafter Weise vor jedem Schritt (b) die Schwelle S_x neu gesetzt bzw. vorbestimmt.

Beispielhaft wird in Schritt (b) bei der Schwellwertentscheidung folgende Funktion für die Korrekturfunktion gebildet:

$$\Delta x_{r,\text{soil}}(k) = \begin{cases} 0 & |x_{r-1}(k)| \leq S_x \\ (S_x - |x_{r-1}(k)|) \cdot e^{j \arg(x_{r-1}(k))} & |x_{r-1}(k)| > S_x \end{cases}$$

Zweckmäßigerweise ist der Übertragungsstrecke eine Funkstrecke oder ein Kabel, wie beispielsweise ein Breitbandkabel.

Für eine optimale Bewertung von Subkanälen zur Eignung zur Übertragung von Informationen wird in bevorzugter Weise aus der Übertragungsfunktion ein resultierender Amplitudenwert bestimmt.

Der erfindungsgemäße Multiträgerübertragungssender und/oder -empfänger umfaßt in einer bevorzugten Ausführungsform eine Vorrichtung zum Berechnen eines Crestfaktors C , welche nach jedem Durchlauf der Rückkopplungsschleife den Crestfaktor C einer resultierenden Funktion $x_r(k) = x_{r-1}(k) + \Delta x_{r,\text{ist}}(k)$ berechnet und über einen nochmaligen Durchlauf der Rückkopplungsschleife oder ein Aussenden von $x_r(k)$ entscheidet.

Zweckmäßigerweise ist der Datenstrom ein Bitstrom digitaler Daten und die Dateneinheit ein Bit.

Nachstehend wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnung näher erläutert. Diese zeigt ein schematisches Blockschaltbild einer bevorzugten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Multiträgerübertragungssenders und/oder -empfängers.

Die in der Figur dargestellte bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Multiträgerübertragungssenders und/oder -empfängers 100 umfaßt einen OFDM-Sender 10, einen OFDM-Empfänger 12 und einen dazwischen liegender Übertragungsweg 14.

Der OFDM-Sender 10 umfaßt in Datenstromrichtung gesehen (in der Figur oben von links nach rechts) einen Dateneingang 16, an dem Daten, wie beispielsweise Datenbits binärer Daten, seriell eingehen, einen Seriell-Parallel-Wandler 18, welcher eingehende Datenbits N Subträgern zuordnet, eine Signalraumzuordnungsvorrichtung 20 mit einer Stufigkeit M , welche $\log_2(M)$ Bits zu einem komplexen Symbol $s(i)$ generiert, eine Ausblendvorrichtung 22, welche gemäß einem nachfolgend erläuterten Belegungsschema c_u in Form eines Vektors mit Vektorelementen $c_1, c_2, \dots, c_i, \dots, c_N$ nicht für die Informationsübertragung verwendete Subkanäle ausblendet, eine erste Transformationsvorrichtung 24, welche die $s(i)$ aller Subkanäle in eine jeweilige Subkanallage verschiebt und zu einer Funktion im Zeitbereich $x(k)$ aufsummiert.

Zusätzlich ist am OFDM-Sender folgendes nach der ersten Transformationsvorrichtung 24 im Datenstromweg in Form einer Rückkoppelschleife angeordnet: Ein Schwellwertentscheider 26, welcher in Abhängigkeit von $|x(k)|$ und einem Schwellwert S_x eine Korrekturfunktion $\Delta x_{r,soll}(k)$ bestimmt, eine zweite Transformationsvorrichtung 28, welche in umgekehrter Weise bezüglich der ersten Transformationsvorrichtung 24 die Korrekturfunktion $\Delta x_{r,soll}(k)$ in eine Trägerbelegung $\Delta s_{r,soll}(i)$ transformiert, eine Ausblendvorrichtung 30, welche die N_u mit Informationen belegten Subkanäle ausblendet und so Funktionen $\Delta s_{r,ist}(i)$ für jeden i -ten Subkanal mittel des inversen Vektors \bar{c}_i erzeugen, Rückkoppelleitungen 32 für jeden Subkanal, welche in jeweilige Akkumulatoren 34 der N Subkanäle vor der ersten Transformationsvorrichtung 24 münden und $s_{r-1}(i)$ mit $\Delta s_{r,ist}(i)$ für alle i , d. h. für alle jeweiligen Subkanäle, aufsummieren.

Nach dem ersten Durchlauf der Rückkoppelschleife wird in der ersten Transformationsvorrichtung 24 dann entsprechend $x_r(k) = x_{r-1}(k) + \Delta x_{r,ist}(k)$ generiert und über einen nochmaligen Durchlauf der Rückkoppelschleife oder ein Aussenenden von $x_r(k)$ entschieden. Bei einem nochmaligen Durchlauf wird $r = r + 1$ gesetzt.

Bester Weg zur Ausführung der Erfindung

Die Aussendung erfolgt in den Kanal 40 über Leitung 36, eine Vorrichtung 38, welche ein Guardintervall hinzufügt und eine Fensterung 41, bei der das Signal mit einer Fensterfunktion derart multipliziert wird, daß sich günstigere spektrale Eigenschaften ergeben. Im Übertragungsweg 14 ist mit N_0 eine Störung symbolisiert.

Der Empfänger 12 ist bezüglich der Datenstromrichtung (in der Figur unten von rechts nach links) umgekehrt symmetrisch aufgebaut und umfaßt eine Abtastvorrichtung 42, welche das vom Kanal 40 empfangene Signal $\hat{x}(k)$, welches durch den Kanal bezüglich des Signals $x(k)$ abgeändert ist, abtastet, eine Vorrichtung 44, welche die entsprechenden Guardintervalle entfernt, eine dritte Transformationsvorrichtung 46, welche das empfangene $\hat{x}(k)$ zurück in den Frequenzraum, d. h. in $\hat{s}(i)$ rücktransformiert, eine Bit-Dekodiervorrichtung 48, welche für jeden der N Subkanäle aus den jeweiligen $\hat{s}(i)$ die entsprechenden Datenbits dekodiert, und einen Parallel-Seriell-Wandler 50, welcher schließlich den ursprünglichen seriellen Datenstrom wieder herstellt.

Der Empfänger umfaßt ferner in Datenstromrichtung gesehen nach der dritten Transformationsvorrichtung 46 für jeden Subkanal eine Vorrichtung 52 zur Betragsschätzung eines jeden Subkanals. Deren Ausgangswerte werden in einem Entscheider 54 zugeführt, welcher darüber entscheidet, welche N_u Subkanäle zur Informationsübertragung benutzt werden und welche $N_f = N - N_u$ Subkanäle für die Informationsübertragung gesperrt werden. Hierzu generiert der Entscheider ein Belegungsschema in Form eines Vektors c_u , dessen N Vektorelemente den Wert 0 oder 1 annehmen. Ein Wert 1 im i -ten Vektorelement c_i bedeutet dabei, daß der i -te Subkanal zur Informationsübertragung freigegeben ist, wogegen entsprechend umgekehrt ein Wert 0 bedeutet, daß der i -te Kanal für die Informationsübertragung gesperrt ist. Dieses Belegungsschema c_u wird auf durch gestrichelter Linien 56 symbolisierten Informationswegen an die Ausblendvorrichtungen 22 und 30 sowie an den Parallel-Seriell-Wandler 50 und den Seriell-Parallel-Wandler 18 gegeben.

Die Idee der Erfindung besteht im wesentlichen darin, ausgehend von einem oben beschriebenen Multiträgerverfahren, die nicht mit Information belegten Subträger zur Reduktion des Crestfaktors (vgl. Formel 1.4) zu nutzen. Dabei findet keine zusätzliche Störung der Nutzträger statt, d. h. derjenigen Subkanäle, welche durch das Belegungsschema c_u zur Informationsübertragung freigegeben sind. Außerdem wird die in der Rückkoppelschleife 26, 28, 30, 32 und 34 durchgeführte Korrekturmaßnahme derart gewählt, daß die Leistung des OFDM-Signals nur geringfügig steigt, da sich die Steigerung der mittleren Leistung in Form einer höheren Bitfehlerrate aufgrund einer maximalen Sendeleistung der Verstärker bemerkbar machen würde.

Erfindungsgemäß werden also zur Crestfaktorreduktion die nicht für die Übertragung genutzten Subträger so belegt, daß der Crestfaktor des OFDM-Signals möglichst klein oder ggf. minimiert wird. Das Subträger-Belegungsschema c_u gibt vor, welche Subträger mit Informationssymbolen belegt sind und welche zunächst Nullsymbole enthalten sollen. Dafür wird erfindungsgemäß ein iteratives Verfahren für jedes OFDM-Symbol vorgeschlagen, das eine Belegung der zur Crestfaktorreduktion verfügbaren Subträger zur Folge hat und eine Korrekturfunktion $\Delta x_{r,ist}(k)$ folgendermaßen berechnet:

1. Das OFDM-Symbol im Zeitbereich $x_0(k)$ wird gemäß Formel (1.3) unter Verwendung einer FFT berechnet.
2. Beginn einer Iterationsschleife mit r als Iterationsindex, wobei $r=1$ gesetzt wird.
3. Ermitteln einer Korrekturfunktion $\Delta x_{r,soll}(k)$ mit Hilfe einer Schwellwertentscheidung (Entscheider 26) an der Schwelle S_x , welche ggf. mit jeder Iterationsschleife zu $S_{x,k}$ geändert wird, gemäß

$$\Delta x_{r,\text{sol}}(k) = \begin{cases} 0 & |x_{r-1}(k)| \leq S_x \\ (S_x - |x_{r-1}(k)|) \cdot e^{j \arg(x_{r-1}(k))} & |x_{r-1}(k)| > S_x \end{cases}$$

4. Transformation der Funktion $\Delta x_{r,\text{sol}}(k)$ in den Frequenzbereich mittels einer FFT (zweite Transformationsvorrichtung 28), so daß sich eine Trägerbelegung $\Delta s_{r,\text{sol}}(i)$ ergibt, die notwendig wäre, um die Funktion $\Delta x_{r,\text{sol}}(k)$ optimal zu approximieren.

5. Da für die Korrekturfunktion nur N_1 von N Subträgern zur Verfügung stehen, wird der Vektor $\Delta s_{r,\text{ist}}(i)$ aus $\Delta s_{r,\text{sol}}(i)$ durch Ausblenden der N_0 mit Informationen belegten Subträger gebildet (Ausblendvorrichtung 30). Dies erfolgt beispielsweise durch Vektormultiplikation von $\Delta s_{r,\text{sol}}(i)$ mit c_u . Die zugehörige Zeitfunktion $\Delta x_{r,\text{ist}}(k)$ wird dann $x_{r-1}(k)$ überlagert gemäß

$$x_r(k) = x_{r-1}(k) + \Delta x_{r,\text{ist}}(k),$$

wodurch $x_r(k)$ deutlich geringere Spitzenwerte aufweist.

6. Falls der Crestfaktor von $x_r(k)$ weiterhin zu groß ist, findet eine erneute Iteration statt, indem bei Schritt 2. der Iterationsindex um 1 erhöht wird und die Schritte 3. bis 6. nochmals durchlaufen werden,

Für den Abbruch dieser Iterationsschleife kommen mehrere Kriterien in Frage. Beispielsweise kann die Anzahl der Iterationen begrenzt sein und/oder das Unterschreiten eines vorgesehenen Crestfaktors bestimmt sein. Zur Verbesserung der Effektivität dieses Verfahrens läßt sich die Entscheidungsschwelle S_x von Iteration zu Iteration variieren.

Bezieht man dieses Verfahren auf die in der Figur dargestellte Vorrichtung so folgt nach der Serieil-Parallel-Wandlung in 18 ein Mapping der zu übertragenden Bits auf die zu nutzenden Subträger. Anschließend findet eine Signalraumzuordnung in 20 statt, welche beispielsweise in Form einer differentiellen Modulation erfolgt. Hierbei werden mehrere Bits (nämlich $\log_2(M)$) auf jedem Subträger einem komplexen Wert $s(i)$ zugeordnet. Die Information steckt dann in den komplexen Symbolen $s(i)$ auf jedem Subkanal. Bei differentieller Modulation steckt die Information in der Differenz entweder zweier benachbarter Symbole oder zweier zeitlich aufeinanderfolgender Symbole. Anschließend werden in 22 N_1 Subträger gemäß dem Belegungsschema c_u ausgeblendet und mit Hilfe der IFFT ergibt sich in 24 das OFDM-Symbol $x(k)$ im Zeitbereich. Per Schwellwertentscheidung in 26 wird nun eine Korrekturfunktion gebildet, die nach Durchführung der FFT in 28 und einem Ausblenden nach dem inversen Belegungsschema c_u in 30 und anschließender IFFT in 24 möglichst gut approximiert werden kann. Nach Durchführung mehrerer Iterationen wird das Guardintervall in 38 angehängt und die einzelnen Symbole werden mit einer Fensterfunktion (cos-roll-off) gewichtet.

Im Empfänger findet zunächst in 42 eine Abtastung statt, bevor das Guardintervall in 44 entfernt wird. Nach der Transformation in 46 in die jeweiligen Subträgerlagen, d. h. Zerlegung in spektrale Anteile mittels FFT, werden die komplexen Symbole entsprechend der verwendeten Modulationsart dekodiert. Eine Schätzung der Betragsübertragungsfunktion der einzelnen Subträger erfolgt in 52 parallel und wird zur Aktualisierung des Subträger-Belegungsschemas c_u herangezogen.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Reduktion des Crestfaktors bei einem Multiträgerverfahren werden also die nicht für die Informationsübertragung genutzten Subträger mit Korrektursymbolen belegt, so daß sich ein minimaler oder zumindest verringerter Crestfaktor einstellt.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Reduktion des Crestfaktors mit Hilfe der Subträgers Selektion ist beispielsweise für folgendes spezielle Anwendungsbeispiel geeignet. Ein OFDM-System mit 8-stufiger Modulation ($M=8$) und 64 Subträgern; von denen 32 für die Informationsübertragung genutzt werden. Die übrigen Subträger stehen einer Reduktion des Crestfaktors nach dem oben beschriebenen Verfahren zur Verfügung.

Patentansprüche

1. Multiträgerübertragungsverfahren zum parallelen Übertragen von Informationen in Form eines Signals $x(k)$ auf N Subkanälen über eine Übertragungsstrecke zwischen einem Sender und einem Empfänger, wobei in dem Empfänger für jeden Subkanal eine Übertragungsfunktion bestimmt wird, wobei ferner die N Subkanäle gemäß der jeweiligen Übertragungsfunktion in ihrer Eignung zur Informationsübertragung bewertet und die N_0 besten Subkanäle für eine Informationsübertragung freigegeben und die übrigen $N_1=N-N_0$ Subkanäle für eine Informationsübertragung gesperrt werden, **dadurch gekennzeichnet**, daß den N_1 von der Informationsübertragung ausgeschlossenen Subkanälen jeweils eine Korrekturfunktion $\Delta x(k)$ derart aufgegeben wird, daß ein Verhältnis zwischen einem Spitzenwert $\max\{|x(k)|\}$ des Signals $x(k)$ und einem Effektivwert $\sqrt{E\{|x(k)|^2\}}$ des Signals $x(k)$ minimiert oder zumindest vermindert wird, wobei ein Belegungsschema c_u , welches die N_0 Kanäle mit Informationen und die N_1 Kanäle ohne Informationen spezifiziert, auf einem Informationsweg zwischen dem Sender und dem Empfänger ausgetauscht wird, so daß beiden ein jeweilig gültiges Belegungsschema c_u bekannt ist.
2. Multiträgerübertragungsverfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Multiträgerübertragungsverfahren ein OFDM-Verfahren (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) ist.
3. Multiträgerübertragungsverfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das Signal $x(k)$ als OFDM-Symbol durch inverse diskrete Fourier-Transformation (IDFT) bzw. durch inverse schnelle Fourier-Transformation (IFFT) gemäß

$$x(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} s(i) e^{j2\pi \frac{ik}{N}}$$

aus komplexen Subkanalbelegungen oder Symbolen $s(i)$ des i -ten Subkanals mit $i=0 \dots N-1$ gebildet wird, wobei die komplexen Symbole $s(i)$ mittels linearer Modulation mit einer Stufigkeit M aus einem parallelisierten seriellen Datenstrom gebildet sind.

4. Multiträgerübertragungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Korrekturfunktion $\Delta x(k)$ mit folgenden Schritten gebildet wird

- (a) Bestimmen des Signals $x(k)$ als ein Anfangssignal $x_0(k)$ und Setzen eines Laufindex r auf eins,
- (b) Bestimmen einer Korrekturfunktion $\Delta x_{r,\text{sol}}(k)$ mittels einer Schwellwertentscheidung mit einer vorbestimmten Schwelle S_x , wobei $\Delta x_{r,\text{sol}}(k)$ für $|x_{r-1}(k)| \leq S_x$ einen ersten vorbestimmten Wert annimmt und für $|x_{r-1}(k)| > S_x$ einen zweiten vorbestimmten Wert annimmt, wobei $r=1, 2, 3, \dots$,
- (c) Transformation der Korrekturfunktion $\Delta x_{r,\text{sol}}(k)$ in den Frequenzbereich in eine Trägerbelegung $\Delta s_{r,\text{sol}}(i)$,
- (d) Ausblenden der N_u mit Informationen belegten Subkanäle aus $\Delta s_{r,\text{sol}}(i)$ zu einem Vektor $\Delta s_{r,\text{ist}}(i)$,
- (e) Transformation der Trägerbelegung $\Delta s_{r,\text{ist}}(i)$ in eine Korrekturfunktion $\Delta x_{r,\text{ist}}(k)$ und
- (f) Bestimmen eines korrigierten Signals $x_r(k)$ gemäß

$$x_r(k) = x_{r-1}(k) + \Delta x_{r,\text{ist}}(k).$$

5. Multiträgerübertragungsverfahren nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch folgenden zusätzlichen Schritt
(g) Bestimmen des Crestfaktors C

$$C = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{\max\{|x_r(k)|\}}{\sqrt{E\{|x_r(k)|^2\}}} \right)$$

und wiederholen der Schritte (b) bis (g), falls C einen vorbestimmten Wert unterschreitet mit $r=r+1$.

6. Multiträgerübertragungsverfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß in Schritt (a) $x_0(k)$ aus dem zu übertragenden Datenstrom gemäß Anspruch 3 gebildet wird.

7. Multiträgerübertragungsverfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß vor jedem Schritt (b) die Schwelle S_x neu gesetzt bzw. vorbestimmt wird.

8. Multiträgerübertragungsverfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß der erste vorbestimmte Wert in Schritt (b) null ist.

9. Multiträgerübertragungsverfahren nach einem der Ansprüche 4 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der zweite vorbestimmte Wert in Schritt (b)

$$(S_x - |x_{r-1}(k)|) \cdot e^{j\arg(x_{r-1}(k))}$$

ist, wobei $\arg(x)$ einen Phasenwinkel von x bezeichnet.

10. Multiträgerübertragungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Übertragungsstrecke eine Funkstrecke oder ein Kabel, wie beispielsweise ein Breitbandkabel, ist.

11. Multiträgerübertragungsverfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß aus der Übertragungsfunktion ein resultierender Amplitudenwert bestimmt wird.

12. Multiträgerübertragungssender und/oder -empfänger, insbesondere zum Ausführen eines Multiträgerübertragungsverfahrens gemäß wenigstens einem der vorhergehenden Ansprüche, zum parallelen Übertragen eines Datenstromes in Form eines Signals $x(k)$ auf N Subkanälen mit einem Sender (10) und einem Empfänger (12), wobei in dem Empfänger (12) für jeden Subkanal eine Übertragungsfunktion bestimmt ist, wobei ferner die N Subkanäle gemäß der jeweiligen Übertragungsfunktion in ihrer Eignung zur Informationsübertragung bewertet und die N_u besten Subkanäle für eine Informationsübertragung freigegeben und die übrigen $N_f = N - N_u$ Subkanäle für eine Informationsübertragung gesperrt sind, wobei ferner der Sender (10) in Datenstromrichtung folgendes aufweist, einen Seriell-Parallel-Wandler (18), welcher einen eingehenden seriellen Datenstrom parallelisiert, eine Signalraumzuordnungsvorrichtung (20), welche mit einer Stufigkeit M eine Anzahl von jeweils $\log_2(M)$ Dateneinheiten einem Subkanal in Form eines jeweiligen komplexen Symbols $s(i)$ des i -ten Subkanals zuordnet, und eine erste Transformationsvorrichtung (24), welche die $s(i)$ aller Subkanäle in eine jeweilige Subkanallage verschiebt und zu einer Funktion im Zeitbereich $x(k)$ aufsummiert, dadurch gekennzeichnet, daß zusätzlich folgendes nach der ersten Transformationsvorrichtung (24) im Datenstromweg in Form einer Rückkopplungsschleife angeordnet ist, ein Schwellwertentscheider (26), welcher in Abhängigkeit von $|x(k)|$ und einem Schwellwert S_x eine Korrekturfunktion $\Delta x_{r,\text{sol}}(k)$ bestimmt, eine zweite Transformationsvorrichtung (28), welche in umgekehrter Weise bezüglich der ersten Transformationsvorrichtung (24) die Korrekturfunktion $\Delta x_{r,\text{sol}}(k)$ in eine Trägerbelegung $\Delta s_{r,\text{sol}}(i)$ transformiert, eine Ausblendvorrichtung (30), welche die N_u mit Informationen belegten Kanäle ausblendet und so Funktionen $\Delta s_{r,\text{ist}}(i)$ für jeden i -ten Subkanal erzeugt, Rückkoppelleitungen (32) für jeden Subkanal, welche in jeweilige Akkumulatoren (34) der N Subkanäle vor der ersten Transformationsvorrichtung (24) münden und $s_{r-1}(i)$ mit $\Delta s_{r,\text{ist}}(i)$ aufsummieren.

13. Multiträgerübertragungssender und/oder -empfänger nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vorrichtung zum Berechnen eines Crestfaktors C vorgesehen ist, welche nach jedem Durchlauf der Rückkoppel-

schleife den Crestfaktor C einer resultierenden Funktion $x_r(k) = x_{r-1}(k) + \Delta x_{r,ist}(k)$ berechnet und über einen nochmaligen Durchlauf der Rückkopplungsschleife oder ein Aussenden von $x_r(k)$ entscheidet.

14. Multiträgerübertragungssender und/oder -empfänger nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, daß der Datenstrom ein Bitstrom digitaler Daten und die Dateneinheit ein Bit ist.

Hierzu 1 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

